

# 核融合戦略の策定に向けて

---



令和4年9月  
科学技術・イノベーション推進事務局

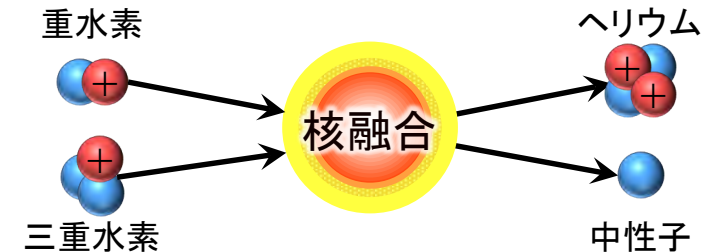


# 核融合を巡る現状と課題

# 未来のエネルギーとしての核融合

## 核融合エネルギー（Fusion Energy）とは

- 軽い原子核同士（重水素、三重水素）が融合して別の原子核（ヘリウム）に変わる際に放出されるエネルギー。
- 太陽と同じエネルギーで、ウラン燃料を用いる原子力発電と全く異なる。



**カーボンニュートラル** 発電の過程において地球温暖化の原因となる二酸化炭素を発生しない。

**豊富な燃料** 燃料となる重水素は海水中に豊富に存在し、三重水素は海水中に豊富に存在するリチウムより生成可能。少量の燃料から膨大なエネルギーを発生（燃料 1 g で石油 8 t に相当）。

**固有の安全性** 燃料の供給や電源を停止することにより、核融合反応を速やかに停止することが可能。

**環境保全性** 高レベル放射性廃棄物は発生せず、低レベル放射性廃棄物は発生するが、従来技術で処理処分が可能。



# 安定的に確保可能なクリーンエネルギーの重要性の高まり

- 気候変動の深刻化を受け、近年、我が国を含む多くの国がカーボンニュートラル達成の目標を設定  
→二酸化炭素を排出しないクリーンエネルギーの獲得は人類共通の課題
- ロシアのウクライナ侵攻による原油・ガス市場への影響、新興国によるエネルギー需要の拡大等、エネルギーを巡る国際情勢は激しく変化  
→化石燃料への過度な依存は、周期的かつ構造的な国家リスク
- 核融合エネルギーの実現により、
  - ・地球環境問題の解決に資する新しい基幹エネルギーを獲得
  - ・エネルギー自給など、将来のエネルギー安全保障に貢献

## 年限付きのカーボンニュートラルを宣言した国・地域 (154か国、1地域)



資料：経済産業省作成

## G7各国の一次エネルギー自給率とロシアへの依存度

国名	一次エネルギー自給率 (2020年)	ロシアへの依存度 (輸入量におけるロシアの割合) (2020年) ※日本の数値は財務省貿易統計2021年速報値		
		石油	天然ガス	石炭
日本	11% (石油0% ガス3% 石炭0%)	4% (シェア5位)	9% (シェア5位)	11% (シェア3位)
米国	106% (石油103% ガス110% 石炭115%)	1%	0%	0%
カナダ	179% (石油27% ガス13% 石炭232%)	0%	0%	0%
英国	75% (石油10% ガス53% 石炭20%)	11% (シェア3位)	5% (シェア4位)	36% (シェア1位)
フランス	55% (石油1% ガス0% 石炭5%)	0%	27% (シェア2位)	29% (シェア2位)
ドイツ	35% (石油3% ガス5% 石炭54%)	34% (シェア1位)	43% (シェア1位)	48% (シェア1位)
イタリア	25% (石油13% ガス6% 石炭0%)	11% (シェア4位)	31% (シェア1位)	56% (シェア1位)

資料：World Economy Balances 2020 (自給率)、BP統計、EIA Oil Information、Cedigaz統計、Coal Information (依存度)

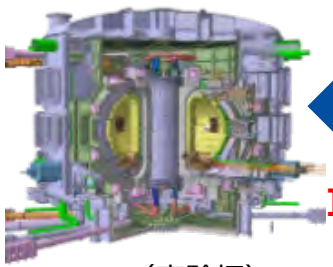
# 核融合開発 協調から競争の時代へ

- 核融合への政策的重要性の高まりから、**主要国は核融合エネルギー開発に関する各国の取組を一斉に加速**するとともに**核融合ベンチャーへの投資も拡大**するなど、**国際競争の時代**に突入。
- 我が国としても核融合発電に必須な機器の研究開発を加速し、諸外国に対する技術的優位性を確保するとともに、産業競争力強化につなげる必要

## ITER計画等を中心とした国際協調の時代

### ITER計画

- ✓ 世界7極35か国の参画
- ✓ 2020年より炉心の組立が開始され、運転開始までの77%建設完了
- ✓ 2025年運転開始、2035年核融合運転開始



ITER (実験炉)  
(仏 (ITER機構))

ITER計画の  
補完・支援

**BA活動**  
(茨城県那珂市  
青森県六ヶ所村)



JT-60SA

### 我が国の現状

- ✓ 国際協力プロジェクトに参画することにより、核融合機器の基幹技術を着実に蓄積
- ✓ 将来の核融合発電に向けて、ポストイーター計画の不透明さや若手人材の不足を解決する中長期にわたる戦略的な取組が不可欠

## 各国独自の取組・ベンチャーによる国際競争の時代

### 各国の取組



商業核融合エネルギーの実現を加速するための10年戦略を策定することを宣言 (2022.3)

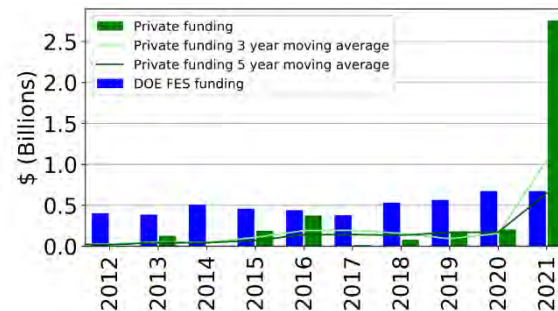


国家核融合戦略発表 (2021.10)  
2040年代に核融合発電炉の建設を目指す



イーターと同規模の核融合工学試験炉を建設し、これを2030年代までに発電炉 (原型炉) に改造する計画を推進中

### 核融合研究開発への投資額が急増



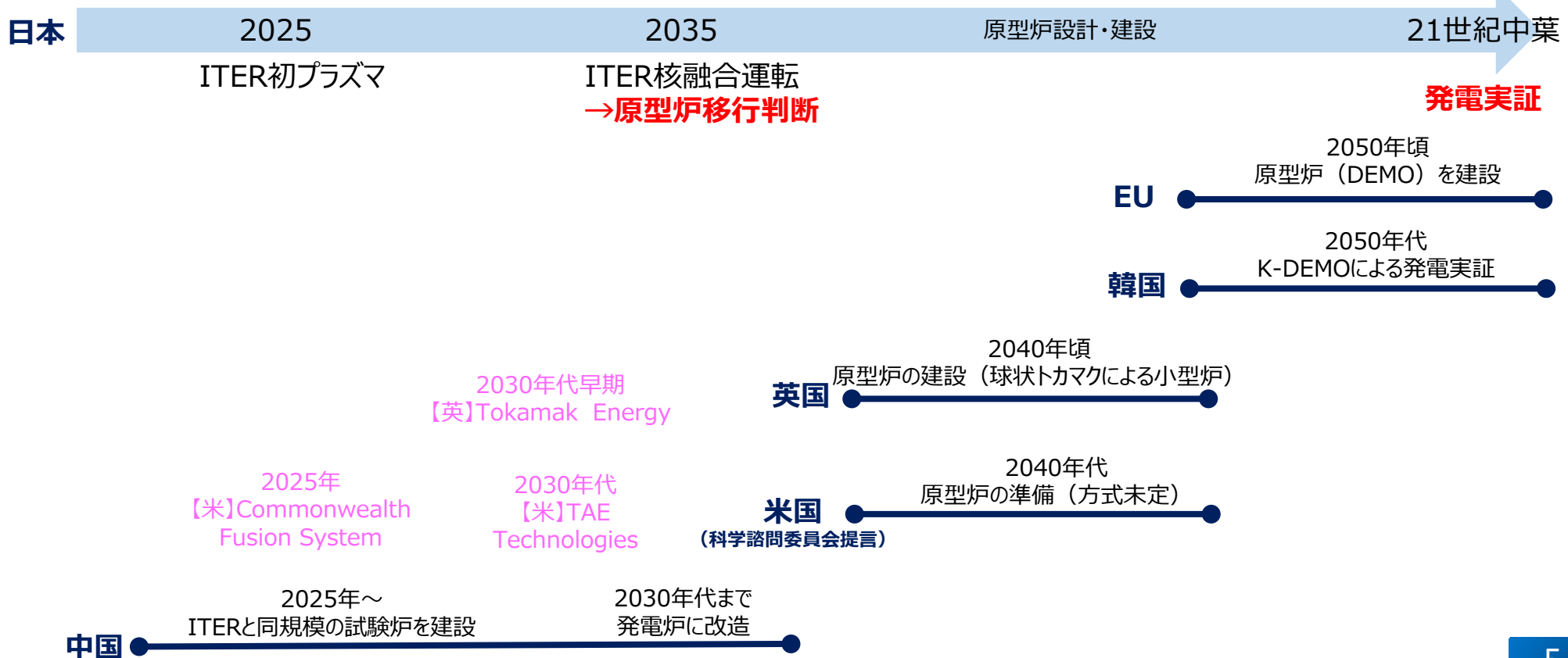
諸外国においては、民間投資が増加。このまま手をこまねくと、我が国の核融合開発の優位性が低下する恐れ

出典: <https://science.osti.gov/-/media/fes/pdf/fes-presentations/2022/Wurzel---PPP-Lightning-round-talk.pdf>

# 諸外国における発電実証時期シナリオ

- 我が国では、ITER計画における2035年の核融合運転開始の結果を踏まえて、発電実証を行う原型炉への移行判断を行い、21世紀中葉での発電実証を目指すこととしてきた
- **海外の政府戦略でも、ITER計画との連動がみられる一方、民間企業との連携による開発の加速化（米、英）や、政府主導での早期開発の動き。また、民間企業では、さらに早期の発電実証も掲げられている。**  
→発電実証時期の前倒しについて、文科省核融合科学技術委員会で技術的検討を開始  
(年内に原型炉開発総合戦略タスクフォースの議論をとりまとめ予定)

## 原型炉研究開発ロードマップ°（文科省核融合科学技術委員会）



# 核融合開発を通じた産業創出への貢献

- 総合的な技術開発を要する核融合開発で培われた技術は、①**国際社会で加速する核融合開発の需要を取り込む**ことに加え、②**核融合発電以外の用途での新産業創出**も期待される。

→**核融合関連産業の創出を通じて経済成長や社会課題の解決に貢献**

## ①海外の核融合開発への展開

### 大和合金(特殊銅合金メーカー、中小企業)

・日本のイーター調達で獲得した技術を基に、欧州研究機関によるイーター関係調達での契約を獲得



### 京都フュージョニアリング

・イギリス政府主導の核融合炉開発プログラム「STEP」における核融合反応に必要な三重水素(トリチウム)のエンジニアリングに関するノウハウ提供などを受注。

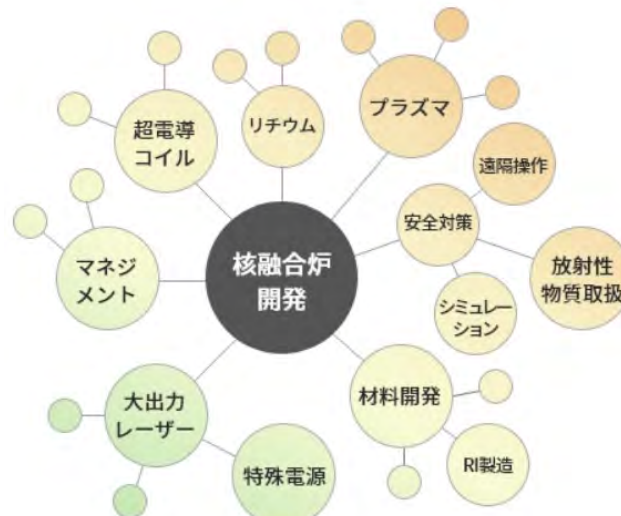


Figure 10 - Illustration of STEP prototype power plant facility<sup>TM</sup>

出典: Towards Fusion Energy The UK Government's Fusion Strategy

## ②スピンアウト型の産業創出

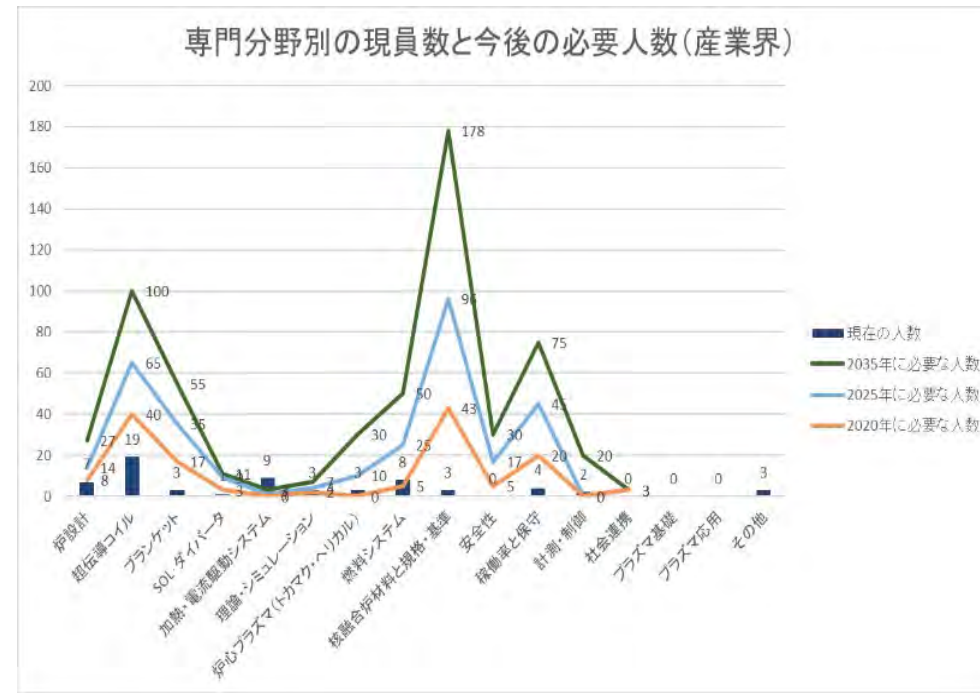
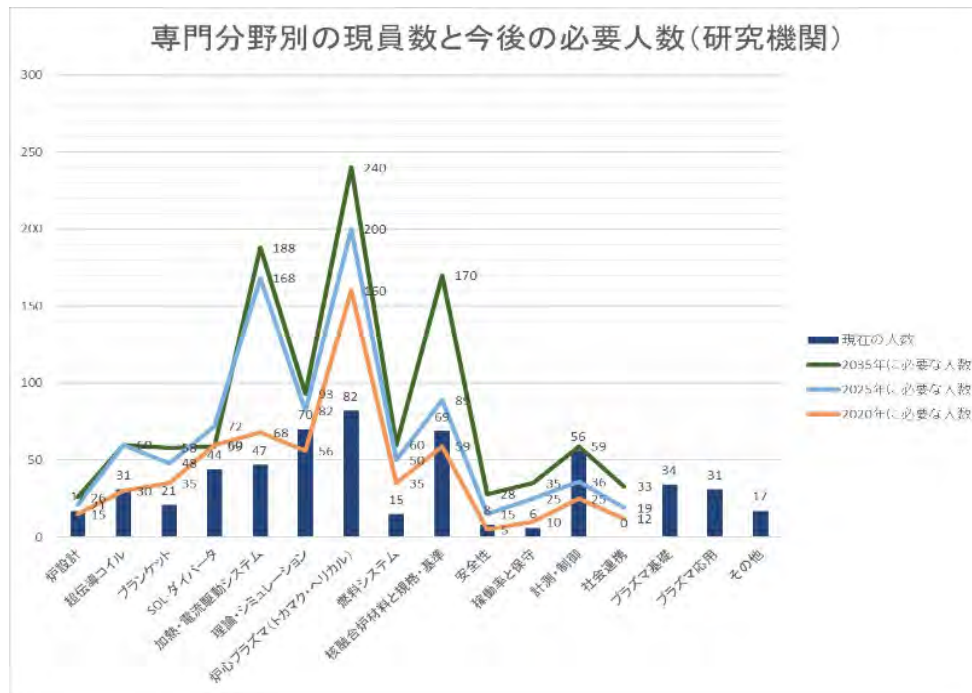
- 超伝導技術による医療用MRIの開発
- 超伝導コイルを高精度で製作する技術は、海洋調査船や宇宙船の外壁等の精密加工に活用
- 核融合炉の加熱装置用の超高压絶縁技術や大電流高速変調技術は、直流送電、電車や電力設備等への応用が期待
- LiやBeの回収技術は、電気自動車のLi電池のリサイクル技術、他のレアメタル回収にも応用が期待



出典:核融合エネルギーの実現に向けて:文部科学省 ([mext.go.jp](http://mext.go.jp))

# 核融合人材を取り巻く課題

- 核融合分野で将来必要とされる人員数と、現状の人員数に大きな隔たり。
- 大学でのプラズマ研究に占める核融合研究のウエイトは減少。博士課程進学率は、平成18年と比較して、低下傾向。
- ITER計画に関して、我が国は国際的に大きな貢献が期待される一方、ITER機構における日本人職員数割合は、約4%という低い割合。



(出典) 平成30年3月28日 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 第13回 核融合科学技術委員会 資料2参考2



# スケジュール及び議論のポイント（案）

# 核融合戦略 有識者会議 今後の予定

- 我が国でも、核融合発電の実現に向けた新たな方策を検討するため、統合イノベ戦略推進会議の下に「核融合戦略 有識者会議」を設置。

第208回国会における岸田内閣総理大臣施政方針演説（令和4年1月17日）

## 四 気候変動問題への対応

送配電インフラ、蓄電池、再エネはじめ水素・アンモニア、革新原子力、核融合など、非炭素電源。需要側や、地域における脱炭素化、ライフスタイルの転換。資金調達の在り方。カーボンプライシング。多くの論点に方向性を見出していきます。

## 検討体制・内容（案）

- 核融合技術の専門家に加え、事業化に精通した専門家により検討
- 研究開発にとどまらず、核融合による発電の実現、核融合機器市場の確保、民間投資促進等社会実装につながる議論を展開。
  - － 核融合開発に国として取り組む意義
  - － 発電の実証時期含む核融合技術の開発戦略
  - － 核融合産業の育成戦略
  - － 核融合開発の推進体制

## スケジュール（案）

- 9月 有識者会議第1回（本日開催）  
・会議開催趣旨説明・論点提示  
・イーター等核融合研究開発に関する現状報告
- 11月 有識者会議第2回  
・核融合技術の開発戦略、核融合発電の実証時期について議論  
・核融合産業の育成戦略、推進体制について議論  
・中間整理

- 12月 統合イノベーション戦略推進会議  
・核融合戦略の中間的整理の報告
- 1月以降 有識者会議第3回  
・核融合イノベーション戦略案取りまとめ

有識者会議第4回（予備回）  
→ 4月頃の統合イノベーション戦略推進会議において決定

# 核融合戦略 議論のポイント (案)

## 1. 背景

- 気候変動の深刻化により、国際的にカーボンニュートラルの重要性が高まり。また、ロシアのウクライナ侵攻等により、化石燃料への過度に依存するリスクが顕在化。安定的に確保可能なクリーンなエネルギーの重要性が増加。
- 核融合は、我が国のエネルギー問題と環境問題を根本的に解決することができる未来のエネルギー。さらに、核融合関連産業の創出により経済成長へも貢献（海外の核融合開発への技術展開、スピナウト型の産業創出）
- 主要国は、核融合への政策的重要性の高まりやITER計画等の技術進展を踏まえ取組を一斉に加速するとともに、核融合ベンチャーへの投資も拡大するなど、国際競争の時代に突入。
- 我が国としても核融合戦略を策定し、核融合発電に必須な機器の研究開発を加速し、諸外国に対する技術的優位性を確保するとともに、産業競争力強化につなげる必要

## 2. 論点

### (1) 核融合技術の開発戦略

- ・ ITERの進捗や、諸外国政府・核融合ベンチャー等の動向を踏まえた上で、核融合発電実証に向けて我が国は中長期的にどのように取り組むべきか。
- ・ 核融合発電の実証時期について、核融合科学技術委員会における前倒しの技術的検討に加え、産業界における予見性の向上、環境エネルギー政策、経済安全保障の観点なども加味し、国家戦略としてどのように位置づけるべきか。
- ・ ITER計画の経験・技術蓄積の優位性を最大限活用しつつ、原型炉を我が国で実現するために取り組むべき課題は何か。
- ・ ITER計画で解決できない技術開発課題にどのように取り組むのか（例：BA活動）
- ・ 小型炉や新世代の核融合等の独創的な新興技術についてどのような戦略で取り組むのか（例：競争的資金）

### (2) 核融合産業の育成戦略

- ・ ITER計画等で培われた産業技術・人材を確保・育成していくために必要な取組は何か（例：海外需要取り込み）
- ・ 核融合開発にベンチャー含む産業界の参画を促すためにどのように取り組むべきか（例：施設共用化、公共調達）
- ・ スピナウト型の核融合関連技術産業群の振興に向けた方策は何か（例：スタートアップ振興策）
- ・ 核融合の技術特性を踏まえた上で、安全規制についての検討の進め方（例：原型炉のコンセプト整理）

### (3) 核融合戦略の推進体制等

- ・ 核融合エネルギー（固有の安全性、環境保全性）への国民理解の増進（例：アウトリーチ）
- ・ 発電実証や産業育成の観点を踏まえた国内の推進体制をどのように構築するべきか（例：原型炉に向けた官民連携）
- ・ 中長期にわたっての人材確保にどのように取り組むべきか（例：大学・研究機関との連携）

# 參考資料

# カーボンニュートラル実現に向けて各国で加速する核融合開発競争











核融合はエネルギー問題と環境問題を根本的に解決することから、カーボンニュートラル実現の鍵となるエネルギー源。これまで、世界7極35か国による国際協力で実施してきたITER計画が進捗していることを受け、主要国は、**核融合エネルギー開発に関する各国独自の取組みを2020年頃から一斉に加速。国際競争の様相に突入**している。併せて、各国において**核融合ベンチャーへの投資も活性化**。

- 欧州連合関連機関（EUROfusion）が策定した「核融合エネルギー実現に向けた欧州研究ロードマップ」（2018年）において、22世紀に世界で1テラワット（100万kW発電所 1,000基分）の核融合発電所が必要と記載。フォン・デア・ライエン欧州委員長（2019年発足）の「欧州グリーンディール」政策の下で核融合は推進され、2020年5月-11月に3段階による中間評価を行い、**2050年頃に発電を行う核融合原型炉（DEMO）を建設**すべきと評価。
- 米国ではエネルギー省（DOE）の核融合エネルギー科学諮問委員会（FESAC）は、**2040年代までに核融合パイロットプラント（発電炉）を建設するための準備を整えること**を提言（2021年2月）。全米科学アカデミーは、**2028年までに実施判断し、2035～2040年に発電を目指す**と提言（2021年2月）。**安全規制**について、原子力規制委員会（NRC）を中心に検討を開始。このような活動を受けて、大統領府がDOEと共催した会合（2022年3月）において、「**商業核融合エネルギーの実現を加速するための10年戦略**」を、民間セクターとの連携の下で策定することを表明。民間ではCommonwealth Fusion Systems社（MIT発ベンチャー）は2021年12月に2050億円以上の追加資金調達を公表（累計2200億円以上）。2025年に核融合実験炉を稼働させることを目指す。
- 英国は、ジョンソン首相による新政策「グリーン産業革命に向けた10項目の計画」（2020年11月）、「英国政府の核融合戦略」（2021年10月）において、**2040年までに核融合原型炉の建設を目指す**と明記。発電炉の立地地域を募集し、5つの候補地を公表（2021年10月）。政府の規制政策諮問会議による今後の**核融合規制に関する勧告**（2021年5月）に対し、**政府が核融合規制に関する討議資料（グリーンペーパー）を公表**（2021年10月）し、意見募集を実施。Tokamak Energy社（2009年設立）は2022年3月に民間初・プラズマ温度1億度を達成。
- 韓国政府（国家核融合委員会）が策定した「第4次核融合エネルギー開発振興基本計画（2022-26）」（2021年12月）において、**2050年代に核融合電力生産実証炉（K-DEMO）による発電実証**という目標を設定するとともに、**発電の実証に必要な8つのコア技術群の確保**、安全規制について、2024年までに核融合規制体系の基本的な方針を策定すると記載。**核融合実験装置KSTARは1億度のプラズマを20秒閉じ込めることに成功し、2025年までに300秒まで伸ばすことを目標としている**。
- 中国においても、国産の核融合発電実現に向けた取組が進められている。実験装置EASTでは2021年12月に7000万度のプラズマを1000秒以上維持するという世界記録を達成した。また、イーターで製作できなかった核融合要素技術の獲得のための施設群CRAFTを建設中（2025年に完成予定）。さらにJT-60SAと同規模でDT運転も計画している実験装置BESTを2027年に運転開始予定。2025年よりイーターと並行して、**イーターと同規模の核融合工学試験炉（CFETR）を1基建設した後、これを2030年代までに発電炉（原型炉）に改造**する計画を推進中。




# 海外の核融合ベンチャーの動向

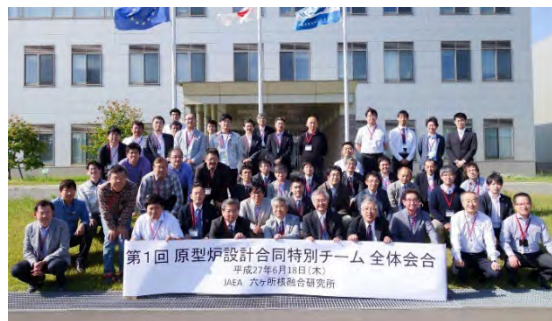
- 近年、イーター計画の進捗による技術的成熟に対する信頼感の形成、カーボンニュートラルに対する政策的要請の高まりを背景としつつ、主要国において、核融合ベンチャーの設立、民間投資の獲得が相次いでいる。
- 各国政府が推進する核融合炉計画にも参画しているが、ナショナル・プロジェクトで十分に取組を始めていない未実証の新技术に着目し、集中的な技術実証を進めている。

企業名	資金源	研究内容		パイロットプラントの計画
TAE Technologies 米国、カリフォルニア 	<ul style="list-style-type: none"> <li>投資による資金調達 累積1000M米ドル (約1380億円)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>磁場反転配位(FRC)型(国内では日本大学)</li> <li>本方式の原理実証を通じて、中性子を発生しない水素-ホウ素核融合が目標</li> <li>荷電粒子による直接発電</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>2030年代に30~50万キロワット</li> </ul>
Commonwealth Fusion Systems 米国、マサチューセッツ 	<ul style="list-style-type: none"> <li>マサチューセッツ工科大学</li> <li>投資による資金調達 累積2000M米ドル (約2720億円)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>トカマク型(国内ではQST)</li> <li>小型化に必要な高温超伝導磁石を開発中</li> <li>ブランケットで発電</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>2030年代早期に20万キロワット</li> </ul>
General Fusion カナダ、バーナビー 	<ul style="list-style-type: none"> <li>カナダ政府</li> <li>投資による資金調達 累積300M米ドル (約414億円)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>衝撃波磁化標的核融合(MTF)</li> <li>※ピストンで音響圧力波を生成し、プラズマを繰返し生成・圧縮する方式</li> <li>液体金属の熱交換で発電</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>2030年代早期に23万キロワット</li> </ul>
Tokamak Energy 英国、オックスフォードシャー 	<ul style="list-style-type: none"> <li>英国政府</li> <li>投資による資金調達 累積250M米ドル (約345億円)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>球状トカマク型(国内では東京大、京都大、九州大)</li> <li>小型化に必要な高温超伝導磁石を開発中</li> <li>ブランケットで発電</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>2030年代早期に50万キロワット</li> </ul>
First Light Fusion 英国、オックスフォードシャー 	<ul style="list-style-type: none"> <li>オックスフォード大学</li> <li>投資による資金調達 累積97M米ドル (約134億円)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>衝撃波慣性核融合</li> <li>※レーザで発射した銅板を燃料ペレットに衝突させ、その衝撃波でプラズマを生成する方式</li> <li>液体金属の熱交換で発電</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>時期は不明だが15万キロワット</li> </ul>

# 国内の核融合ベンチャーの動向

- 我が国においても核融合に関連したベンチャーが近年立ち上がっている。
- 文部科学省が推進している原型炉合設計同特別チームにも、国内の核融合ベンチャーあるいはベンチャーを起業した研究者が参画しており、国内企業及び大学・国立研究所と連携して、原型炉設計活動にも貢献(130名中5名)。

企業名	資金源	研究内容		備考
 浜松ホトニクス 日本、浜松市	・自社資金 年間10億円	・高強度レーザーによる慣性核融合の実証を目指し、高強度レーザーを開発 ・産業への技術応用も展開		・2015年、浜松ホトニクス産業開発研究所に実験施設を建設 ・研究員30名程度 ・大阪大、光産業創成大学院大学、トヨタ自動車と連携
 京都 フュージョニアリング 日本、京都市	・京都大学 ・投資による資金調達 累計16.7億円	・核融合に関する技術開発とエネルギー平和利用を目的としたエンジニアリング企業 ・欧米の大学関連企業や核融合炉プロジェクトに対してブランケット、ダイバータなどの主要機器やプラント設計を供給することが目標		・2019年、京都大学エネルギー理工学研究所の教授を中心に設立 ・核融合エネルギーの変換と利用、燃料となる三重水素のハンドリング、中性子源の利用、熱工学を専門 ・経済産業省令和2-3年度「原子力産業基盤強化事業補助金」の間接補助対象事業者に採択
 Helical Fusion 日本、東京都	・核融合科学研究所 ・投資による資金調達 累計 6千万	・ヘリカル（ヘリオトロン）磁気配置の核融合炉の実現が目標		・2021年に核融合科学研究所の研究者らによって設立 ・2040年前半にパイロットプラント（商用炉、発電量は100MW）を想定
 EX-Fusion 日本、大阪府	・大阪大学 ・投資による資金調達 累計 1.3億円	・慣性レーザー核融合方式による発電の商用化が目標		・2021年にレーザー核融合を研究してきた大阪大学レーザー科学研究所や光産業創成大学院大学の研究者らによって設立 ・2030年代後半にパイロットプラントを想定



2022年3月現在

# 統合イノベーション戦略推進会議

CSSTI  
(総合科学技術・  
イノベーション会議)

デジタル庁

知財本部

健康医療  
本部

宇宙本部

海洋本部

## 統合イノベーション戦略推進会議 【H30.7.25設置】

議長：官房長官 議長代理：科技大臣 副議長：関係本部担当大臣 構成員：他の全国務大臣

- ・「統合イノベーション戦略」の推進、個別戦略(AI、バイオ、量子、グリーン、安全・安心、マテリアル、核融合)の策定・推進など
- ・イノベーションに関連が深い司令塔会議の横断的かつ実質的な調整

### 有識者会議

個別テーマの専門調査  
(AI、バイオ、量子、グリーン※、  
安全・安心、マテリアル、核融合)

※グリーンは、関係5府省の申合せによる設置

提言

### 強化推進チーム

チーム長：内閣総理大臣補佐官  
チーム長代理：副長官補、内閣府審議官、科技イノベ事務局長  
構成員：関係本部事務局・関係府省局長・審議官級  
※AI、バイオ、スマートシティ、量子等個別テーマごとにTFを設置

### イノベ関係司令塔会議

メンバー：補佐官、副長官補、内閣府審議官、  
科技イノベ事務局長、関係本部幹部

### イノベ関係府省局長会議

メンバー：補佐官、副長官補、  
科技イノベ事務局長、関係府省局長級

事務局 (科学技術・イノベーション推進事務局) 【R3.4.1設置】